

溶接施工条件での水素濃度測定的重要性

(平成元年 5 月 27 日 原稿受付)

材料工学科 (学生)	遠	矢	正	男
物質工学科 (材料コース)	秋	山	哲	也
物質工学科 (材料コース)	寺	崎	俊	夫

Importance of Hydrogen Content Measured under
Welding Conditions in the Fieldby Masao Touya
Tetsuya Akiyama
Toshio Terasaki

Abstract

This paper has investigated that the hydrogen content just after welding is influenced by welding conditions in spite of the similar electrode. Implant tests were done for proving the change of hydrogen content due to welding conditions. The susceptibility of cold cracking changed by welding conditions. It was clear from data of Implant test that the hydrogen content must be measured under the welding condition used in the field for avoiding cold cracking.

1. 緒 言

著者らは溶接割れの重要因子である水素濃度を精度良く測定する試験片寸法を理論と実験により明らかにした^{1)・2)}。従来の規格では、水素濃度測定用の試験片は固定された溶接条件での水素濃度の測定に対してのみ有効であり、単に溶接棒が保有している水素濃度の比較試験にしか利用できない欠点を持っていた³⁾。著者らは溶接金属が保有する水素濃度が溶接条件により変化する事を実験により示した²⁾。そして、低温割れ防止に使用できる水素濃度は溶接施工条件で測定しなければならない事を指摘し、多くの施工条件下で水素濃度が測定できる試験片寸法として板厚12mm、板幅40mm、板長40mmの試験片を提案した。しかし、溶接金属が保有する水素濃度が溶接条件で変化する事を示した報告は著者らのデータ以外には存在せず、“溶接施工条件での水素濃度測定的重要性”を指摘する研究が必要となった。溶接低温割れは応力、割れ発生部の組織 (硬さで代表される)、

水素濃度の影響を大きく受ける。従って、溶接施工条件により水素濃度は変化するが、水素濃度以外の2つの因子である応力と硬さが変化しない溶接割れの実験を行えば、溶接施工条件での水素濃度の測定の重要性が証明される。また、著者らが提案した水素濃度測定用の試験片寸法の意義が明確になる。

本論文では溶接施工条件で水素濃度を測定しなければならない重要性を明らかにするために、応力の制御が容易なインプラント試験を使用して、溶接割れの実験を行った。同じ溶接棒を使用しても溶接条件が異なると水素濃度が変化することを明らかにすると共に、水素濃度の影響によりインプラント試験の割れ限界応力が異なることを明らかにした。

2. 水素濃度に関する実験

溶接棒が同じでも溶接施工条件が異なると水素濃度が変化することを実験により明らかにする。

2.1 実験材料

水素濃度の測定には表-1に示す溶接用構造用鋼 SM50 を使用した。溶接棒として50キロ級高張力鋼に用いられる低水素系溶接棒 D5016 を使用した。溶接棒の乾燥条件は300℃, 1時間である。

表-1 水素濃度測定用試験片の化学組成

Steel	Chemical compositions (wt%)				
	C	Si	Mn	P	S
SM50	.16	.44	1.36	.021	.009

2.2 実験方法

溶接は写真-1に写真を示す完全自動被覆アーク溶接機で行った。この溶接機は写真-2に写真を示すようにアーク電圧制御で自動溶接を行っている。前報²⁾で報告したように溶接電圧が変化すると溶接金属が保有する水素濃度が変化するため、溶接条件としては溶接電流170 A, 溶接速度150mm/minと一定にして、溶接電圧のみを25 V, 20 Vと変化させた。図-1に電圧波形を示すように溶接中の平均電圧は25 Vと20 Vのほぼ一定値になっている。

水素捕集は提案した12×40×40の試験片を用いて行った。水素捕集の手順を図-2に示す。水素捕集用のピースとタブ板を図(a)のように Cu ブロックの溝に配置し、

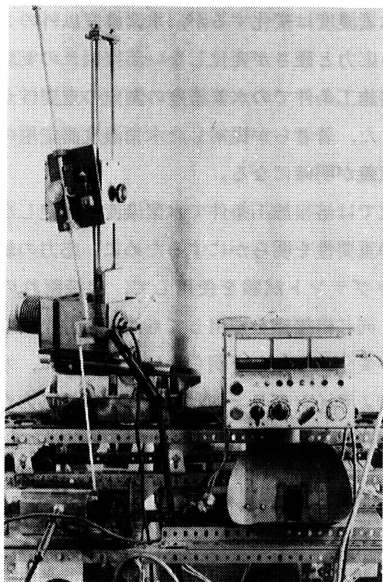


写真-1 完全自動アーク溶接機

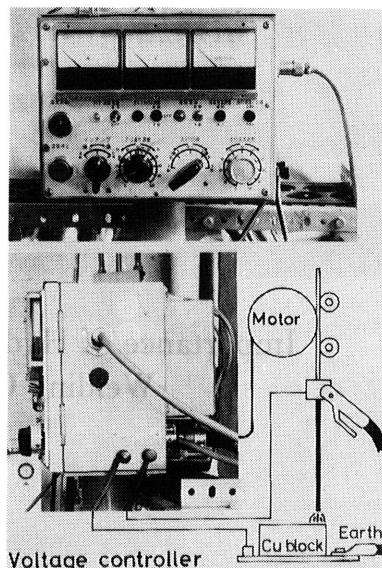


写真-2 溶接電圧制御部

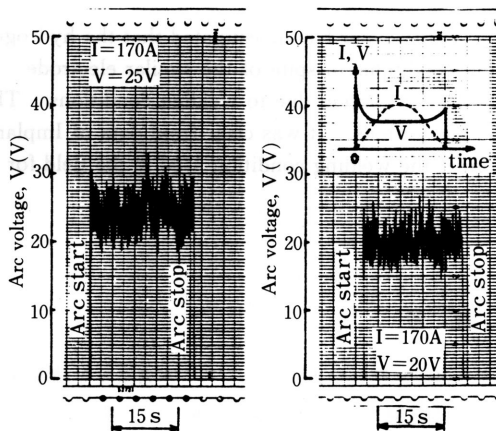


図-1 溶接電圧波形

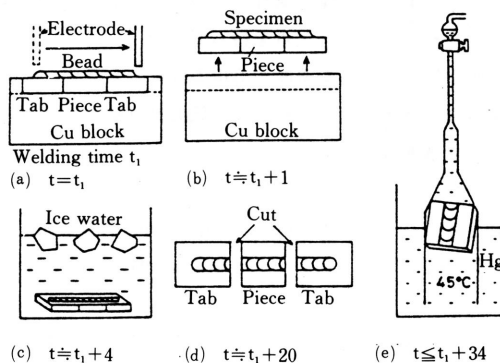


図-2 水素捕集の手順

溶接を行う。溶接に要した時間を t_1 (s) とする。溶接終了後に図(b)に示すように試験片を Cu ブロックから取り外し、図(c)に示すように水に試験片を投入する。その後、図(d)に示すようにピースとタブ板を分離してスラグを除去し、図(e)に示す45℃の恒温保持した水銀中のベル内にピースをセットする。各過程での所用時間を図中に示している。

2.3 実験結果と考察

実験結果を表-2に示す。電圧の異なる2種類の水素捕集の実験は表に示すように同じ日に行い、得られた水素濃度に電圧以外の要因が含まれないようにした。

表中の記号を次に説明する。

V：水素捕集量 (mℓ)

h_{Hg} ：ベル内での水銀柱の高さ (mm)

A：溶着金属の断面積 (cm^2)

B：(溶接金属の断面積) - A (cm^2)

W：溶着金属の重さ (g)

H_F ：溶接金属当りの捕集された水素濃度

RT：室温

AP：大気圧 (mmHg)

SP：室温における飽和水蒸気圧 (mmHg)

水素濃度 H_F (ppm) は次式より求めた。

$$H_F = 0.9 \cdot 100 / W \cdot V \cdot \{ 273 / (RT + 273) \} \cdot (AP - SP - h_{Hg}) / 760 \cdot \{ A / (A + B) \}$$

表において同じ日付の H_F を比較すると溶接電圧が高い25Vの水素濃度が20Vの水素濃度よりも小さいことが分かる。

上記の二つの水素濃度に差が存在するか否かを t 検定する⁴⁾。水素濃度の測定値は正規分布に従うと仮定する。25Vの測定値を x_i (n 個), 20Vの測定値を y_i (m 個) とすると、標本平均値 x_{av} , y_{av} および不偏分散 s_x^2 , s_y^2 は次に示す式の形で自由度 ($n + m - 2$) の t 分布に従う。

$$t = (x_{av} - y_{av} - \mu_x + \mu_y) / \sqrt{s^2 \cdot \sqrt{nm} / (n + m)}$$

$$\text{ただし, } x_{av} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n$$

$$s_x^2 = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - x_{av})^2 \right] / (n - 1)$$

$$y_{av} = \left(\sum_{i=1}^m y_i \right) / m$$

$$s_y^2 = \left[\sum_{i=1}^m (y_i - y_{av})^2 \right] / (m - 1)$$

$$s^2 = [(n - 1)s_x^2 + (m - 1)s_y^2] / (n + m - 2)$$

$$\mu_x: 25V \text{ の水素濃度の真の平均値}$$

$$\mu_y: 20V \text{ の水素濃度の真の平均値}$$

そこで、表-2のデータを用いて、25Vと20Vの水素濃度は同じであると仮定すると $\mu_x = \mu_y$ となり、

$$x_{av} = 2.56 \text{ ppm} \quad s_x^2 = 0.25 \text{ ppm} \quad n = 8$$

$$y_{av} = 3.35 \text{ ppm} \quad s_y^2 = 0.39 \text{ ppm} \quad m = 9$$

より、自由度15, $t = 4.8956$ となる。

表-2 水素濃度の測定結果

(1) Welding condition 170A 25V 150mm/min Q=1.7kJ/mm

V (mℓ)	h_{Hg} (mm)	A (cm^2)	B (cm^2)	W (g)	H_F (ppm)	RT (℃)	AP (mmHg)	SP (mmHg)	Humidity (%)	Date
.60	280	.290	.168	7.7	2.52	24	771.0	22.4	53	86.12.03
.63	286	.280	.146	7.8	2.67					
.54	292	.248	.189	6.2	2.52	21	774.6	18.6	53	86.12.06
.56	309	.235	.167	6.4	2.51					
.58	284	.248	.166	6.4	2.82					
.48	294	.219	.137	6.2	2.38	23	772.4	21.1	46	86.12.10
.47	304	.258	.160	6.7	2.12					
.55	288	.285	.127	6.6	2.92					

(2) Welding condition 170A 20V 150mm/min Q=1.36kJ/mm

V (mℓ)	h_{Hg} (mm)	A (cm^2)	B (cm^2)	W (g)	H_F (ppm)	RT (℃)	AP (mmHg)	SP (mmHg)	Humidity (%)	Date
.72	297	.238	.125	7.3	3.36	24	771.0	22.4	53	86.12.03
.72	293	.316	.151	8.7	2.78					
.84	292	.345	.117	8.2	3.80					
.79	294	.264	.112	7.0	4.03	21	774.6	18.6	53	86.12.06
.75	288	.314	.147	7.5	3.51					
.70	292	.271	.143	7.2	3.25					
.64	297	.305	.142	7.0	3.10	23	772.4	21.1	46	86.12.10
.60	296	.270	.105	7.0	3.33					
.65	295	.266	.152	6.8	3.03					

自由度15での有意水準0.5, 1, 5%での t 値は3.286, 2.9467, 2.1315であるから, 得られた4.8956は十分に大きい値である。従って, 20Vと25Vの水素濃度は同じであると言う仮定は危険率0.5%で棄却される。すなわち, 溶接電圧が20, 25Vと異なると水素濃度も異なることになる。

20Vの水素濃度が25Vの水素濃度よりも大きくなる原因は明かではないが, 写真-3にアークの写真を示すようにアーク柱の長さが関係しているようである。

3. 溶接割れに関する実験

溶接棒が同じであっても, 溶接条件が異なると水素濃度が異なるため, 溶接割れ感受性が変化することを実験

により明らかにする。溶接割れの3大因子は拘束応力, 熱影響部の硬さ, および水素濃度である。インプラント試験では拘束応力が制御できるため, 割れ発生部の硬さが等しくなるようにすれば, 溶接割れ感受性に及ぼす溶接条件の相違による水素濃度の影響が明らかになる。

3.1 実験材料

溶接施工条件が変化しても水素濃度以外の溶接割れの主因子である熱影響部の最高硬さおよび組織が変化しない材料として表-3に示すASTMA387のCr-Mo鋼を選んだ。

3.2 実験方法

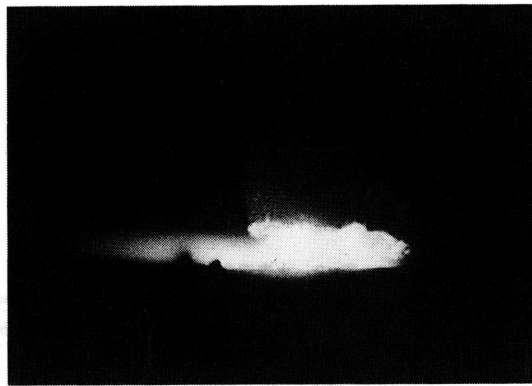
インプラント試験は図-3に示す板厚19mmのサポートプレートを使用し, 図-4に示す著者が考察したイン

表-3 インプラント試験片の化学組成

Steel	Chemical compositions (wt%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
ASTM-A387	.15	.15	.56	.011	.004	2.39	1.09

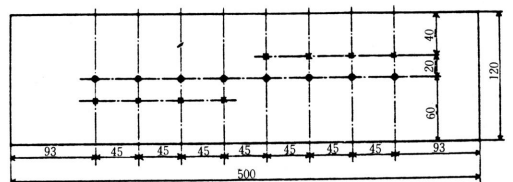


(a)溶接電圧 20V



(b)溶接電圧 25V

写真-3 アーク



○ Hole for implant specimen ($\phi 7.9$ drill and $\phi 8.1$ reamer)
× Hole for thermo-couple ($\phi 2.8$ drill)

図-3 サポートプレート

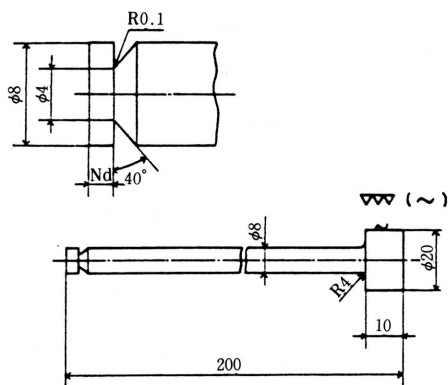


図-4 インプラント試験片

プラント試験片を使用して行った。サポートプレートには熱電対をセットする $\phi 2.8\text{mm}$ のドリル穴を設け、温度が 150°C 以下に冷却したときに、荷重が負荷されるようにした。荷重は死荷重で与えた。インプラント試験片のNd値は溶接線に沿う縦割り断面において、ボンドラインが $\phi 4\text{mm}$ の最小直径の位置と交差するように 2.6mm とした。

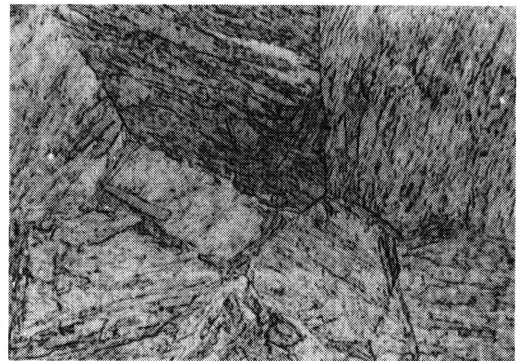
3.3 実験結果

溶接電圧以外の溶接因子を同じにして、インプラント試験を行った時の溶接熱影響部近傍の硬さ分布を図-5に示す。溶接電圧が 20V 、 25V と変化しても影響部の硬さはほぼ等しいことがわかる。写真-4に割れ発生部となるボンド近傍の熱影響部の組織写真を示す。

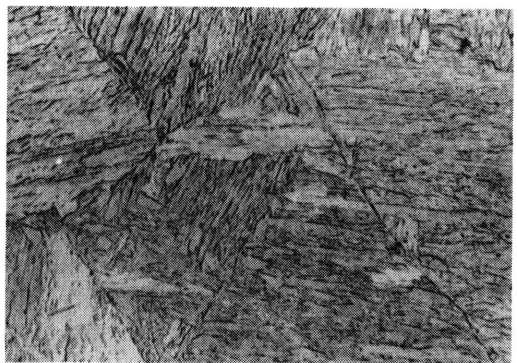
写真はマルテンサイト組織を示しており、使用した溶接条件の相違は組織に影響していない。また組織に影響を与える冷却時間 $t_{8/5}$ は 6.3s と 7.5s であり、マルテンサイトが 100% から減少する時間 $\tau_M=73\text{s}$ より小さい事、およびマルテンサイト 100% の硬さが $Hv_{\max}=415$ である事より、写真-4の組織はマルテンサイト 100% と考えられる⁵⁾。

溶接割れ発生時(約 100°C)の水素濃度に関連した冷却時間 t_{150} の平均値は 25V で 94s 、 20V で 84s であり、この差は水素の拡散にほとんど影響を与えないため、冷却時間は割れに影響しないことになる⁵⁾。

図-6にインプラント試験の負荷応力-破断時間の実験結果を示す。破断時間が 1000分 を越した試験片は非破



(a) 溶接電圧 20V



(b) 溶接電圧 25V

写真-4 熱影響部の組織

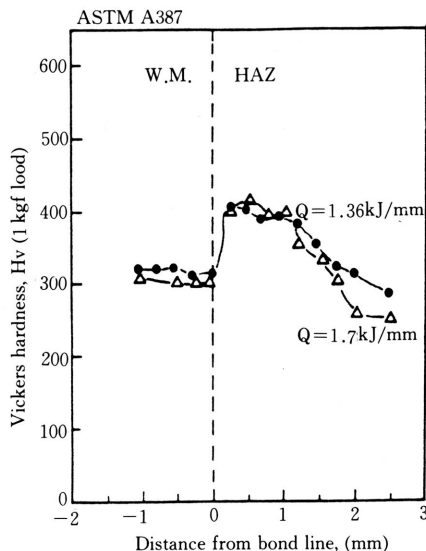


図-5 溶接熱影響部近傍の硬さ分布

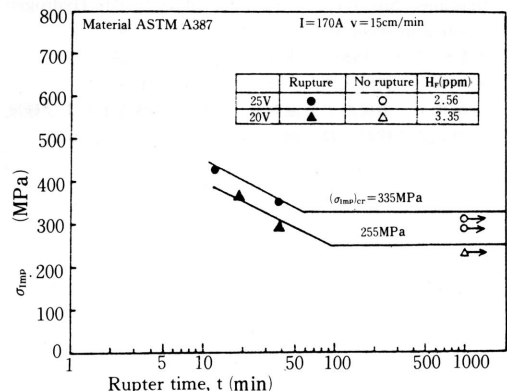


図-6 インプラント試験結果

断試験片とした。限界応力として非破断試験片の最大応力と破断試験片の最小応力の平均値を用いた

図より

170A, 25V, 150mm/min の溶接条件では限界応力が335MPa,

170A, 20V, 150mm/min の溶接条件では限界応力が255MPa

であり、溶接施工条件が異なると限界応力が変化している事がわかる。

4. 結 論

著者らは前報²⁾において水素濃度を測定する試験片の寸法について検討した過程において、溶接施工条件下で水素濃度を測定する必要があることを指摘した。

そして、水素濃度測定試験片の寸法として多くの溶接施工条件下で溶接できる試験片寸法として、板厚12mm, 板幅および板長40mmの試験片を提案した。

しかし、著者らの指摘した事柄が規格を作る上において考慮されていない。

本報告は溶接施工条件が異なると水素濃度が変化して溶接割れの条件が異なることを示すのが目的であり、インプラント試験結果は著者らの指摘したことが重要であることを示した。

参 考 文 献

- 1) Toshio Terasaki and Tetsuya Akiyama: An Analysis on Specimen Size for Determination of Diffusible Hydrogen Content in Weld Metal, Trans. J. W. S, Vol. 17 No. 1 1986, pp. 93-101
- 2) Toshio Terasaki and Tetsuya Akiyama: Experimental on Specimen Size for Determination of Diffusible Hydrogen Content in Weld Metal, IIW Doc. II-1071-86
- 3) WES 1003-1984: 溶接部の水素量測定方法
- 4) 和田秀三: 統計入門, P.98, サイエンス社
- 5) 寺崎俊夫: 溶接部の低温割れに関係する熱因子および硬度の推定式の検討, 鉄と鋼, 1981, 16号, p.2715-2723